

als Funktion des Rb/Sr-Verhältnisses  $R$  für die gemessenen Meteorite aufgetragen. Nehmen wir an, daß die Erde mit den Meteoriten kogenetisch ist, wie es die  $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ -Verhältnisse an gewöhnlichem Blei<sup>9</sup> wahrscheinlich erscheinen lassen, und setzen wir voraus, daß der in Sedimenten heute ge-

messene Wert von 7,03%  $^{87}\text{Sr}$  für die ganze Erde charakteristisch ist, so ergibt Abb. 1 ein Rb/Sr-Verhältnis von 0,16. Dieser Wert stimmt gut überein mit dem von SUESS und UREY<sup>23</sup> geschätzten Wert von 0,18 für das kosmische Häufigkeitsverhältnis dieser Elemente (vgl. <sup>38</sup>).

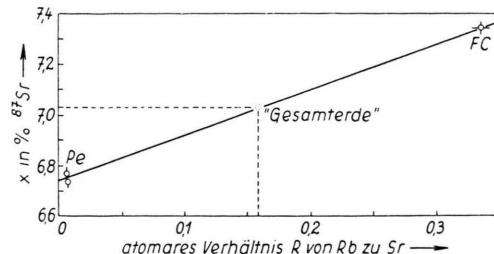


Abb. 1. Diagramm der Funktion:  $x = b/a \cdot R + x_0$ , wobei  $1/a = 1 - x_0$ ,  $b = 0,2785 (e^{\lambda(t-t_0)} - 1)$ .

Alle Materialien, die mit den Meteoriten kogenetisch sind und ihr Rb-Sr-Inventar nicht verändert haben, liefern  $x$ ,  $R$ -Werte-paare, die Punkte dieser Geraden sind. Unter der Annahme, daß der  $^{87}\text{Sr}$ -Gehalt des Meerwassers einen Mittelwert darstellt für das gesamte Sr-Inventar der am Kreislauf beteiligten Erdschichten, erhält man den dafür gültigen  $R$ -Wert.

Herrn Prof. HAROLD C. UREY danke ich bestens für die unvergängliche Gastfreundschaft in seinen Laboratorien sowie für anregende Diskussion und Hinweise. Herr Prof. MARK G. INGHAM hat mich in die Technik der Oberflächenionisation eingeführt und sein hervorragendes Massenspektrometer, Physics Department, ECKHARDT-Hall, University of Chicago, für diese Untersuchungen zur Verfügung gestellt. Ich möchte ihm dafür und für sein Interesse herzlich danken. — Mein USA-Aufenthalt ist durch die Schweizerische „Stiftung für Stipendien auf dem Gebiete der Chemie“ ermöglicht worden, der ich zu vielem Dank verpflichtet bin.

<sup>38</sup> Vgl. Rb/Sr-Werte von L. F. HERZOG u. W. H. PINSON, Metg. Amer. Geol. Soc. Washington 1955, Comm. 31; Rb/Sr=0,2 als „Kosmisches Verhältnis“.

## Das kontinuierliche $\beta$ -Spektrum des RaC

Von H. DANIEL und R. NIERHAUS

Aus dem Institut für Physik im Max-Planck-Institut für medizinische Forschung, Heidelberg

(Z. Naturforsch. 11 a, 212—215 [1956]; eingegangen am 3. Februar 1956)

Das  $\beta$ -Kontinuum des RaC wurde mit einem magnetischen Doppellinsenspektrometer aufgenommen und in Gruppen von  $(3,26 \pm 0,03)$  MeV (19%),  $(1,88 \pm 0,08)$  MeV (9%),  $(1,51 \pm 0,05)$  MeV (40%),  $(1,02 \pm 0,12)$  MeV (23%) und  $(0,42 \pm 0,15)$  MeV (9%) zerlegt.

### 1. Ziel der Untersuchung

RaC (19,7 min) zerfällt zu 0,04% über  $\alpha$ -Strahlung in RaC'' und zu >99% über  $\beta$ -Strahlung in RaC'. Dem  $\beta$ -Kontinuum ist eine große Anzahl Konversionslinien überlagert<sup>2</sup>. Die Resultate älterer Messungen am Kontinuum sind bei SARGENT<sup>3</sup> zusammengefaßt; als Grenze werden 3,15 MeV angegeben. BOTHE und MAIER-LEIBNITZ<sup>4</sup> zerlegten das im magnetischen Koinzidenzspektrometer aufgenommene RaC-Spektrum in Gruppen von 3,15 MeV und etwa 1,9 MeV. CONSTANTINOV und LATYSHEV<sup>5</sup>

haben das  $\beta$ -Spektrum einer Emanationsquelle mit einem Halbkreisspektrometer gemessen und fanden RaC-Komponenten von 3,17 MeV (etwa 23%) und 1,65 MeV (etwa 77%). Auf die gleiche Art ermittelte KAGEYAMA<sup>6</sup> RaC-Gruppen von 3,2; 1,65; 1,00 und 0,36 MeV im ungefähren Intensitätsverhältnis von 80 : 200 : 70 : 35; wie der Autor angibt, sind die Zuordnung der 1 MeV-Komponente zum RaC und die Existenz der 0,36 MeV-Komponente nicht sicher. WAPSTRA<sup>7</sup> fand mit Koinzidenzabsorption  $\beta$ -Gruppen von 3,17 MeV (19%) und 1,75 MeV (0,3%). In ähnlicher Weise ermittelten Ricci und

<sup>1</sup> Vgl. J. M. HOLLANDER, I. PERLMAN u. G. T. SEABORG, Rev. Mod. Phys. 25, 469 [1953].

<sup>2</sup> Vgl. z. B. M. MLADJENOVIC u. H. SLÄTIS, Ark. Fys. 8, 65 [1954].

<sup>3</sup> B. W. SARGENT, Proc. Roy. Soc., Lond. 139 A, 659 [1933].

<sup>4</sup> W. BOTHE u. H. MAIER-LEIBNITZ, Z. Phys. 104, 604 [1937].

<sup>5</sup> A. A. CONSTANTINOV u. G. D. LATYSHEV, J. Phys. USSR 5, 239 [1941]; G. D. LATYSHEV, Rev. Mod. Phys. 19, 132 [1947].

<sup>6</sup> S. KAGEYAMA, J. Phys. Soc. Japan 8, 689 [1953].

<sup>7</sup> A. H. WAPSTRA, Physica 18, 1247 [1952].



Dieses Werk wurde im Jahr 2013 vom Verlag Zeitschrift für Naturforschung in Zusammenarbeit mit der Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften e.V. digitalisiert und unter folgender Lizenz veröffentlicht: Creative Commons Namensnennung-Keine Bearbeitung 3.0 Deutschland Lizenz.

This work has been digitized and published in 2013 by Verlag Zeitschrift für Naturforschung in cooperation with the Max Planck Society for the Advancement of Science under a Creative Commons Attribution-NoDerivs 3.0 Germany License.

Zum 01.01.2015 ist eine Anpassung der Lizenzbedingungen (Entfall der Creative Commons Lizenzbedingung „Keine Bearbeitung“) beabsichtigt, um eine Nachnutzung auch im Rahmen zukünftiger wissenschaftlicher Nutzungsformen zu ermöglichen.

On 01.01.2015 it is planned to change the License Conditions (the removal of the Creative Commons License condition "no derivative works"). This is to allow reuse in the area of future scientific usage.

TRIVERO<sup>8</sup>  $\beta$ -Übergänge von 3,17 MeV (13%), 2,56 MeV (etwa 6%), 1,72 MeV (7%), 1,44 MeV (30%), 1,03 MeV (22%) und <1 MeV (etwa 20%; unaufgelöst). ROWLAND<sup>9</sup> beobachtete Koinzidenzen zwischen  $\beta$ -Teilchen der Energie >1,8 MeV und  $\gamma$ -Strahlung, die einem schwachen  $\beta$ -Zweig von mehr als 1,8 MeV Grenzenergie entsprachen. JOHANSSON<sup>10</sup> stellte, ebenfalls bei  $\beta$ - $\gamma$ -Koinzidenzmessungen,  $\beta$ -Gruppen von 3,17 MeV (21%), etwa 2,5 MeV (etwa 2%) und <1,89 MeV (77%; unaufgelöst) fest. Zerfallsschemata wurden von OPPENHEIMER<sup>11</sup>, SURUGUE<sup>12</sup>, RICCI und TRIVERO<sup>8</sup>, ROWLAND<sup>9</sup> und JOHANSSON<sup>10</sup> vorgeschlagen. Wie die Koinzidenzmessungen<sup>4, 7, 8, 9, 10</sup> zeigten, führt die härteste  $\beta$ -Komponente zum Grundzustand.

Zweck der vorliegenden Untersuchung war es, das  $\beta$ -Kontinuum des RaC ohne Bezugnahme auf andere Daten wie Energien und Intensitäten der  $\gamma$ -Strahlen zu analysieren; diese Daten bieten keine verlässliche Stütze, weil für RaC' kein gesichertes vollständiges Termschema existiert.

## 2. Meßverfahren

Gemessen wurde mit einem früher beschriebenen magnetischen Doppellinsenspektrometer<sup>13</sup>; als Detektor diente teilweise wie früher ein Endfensterzählrohr, teilweise ein Anthracen-Szintillationszähler, der später im Zusammenhang mit Koinzidenzmessungen beschrieben werden soll. Die Quellen bestanden entweder aus aktivem Niederschlag, dessen RaA abgeklungen war,

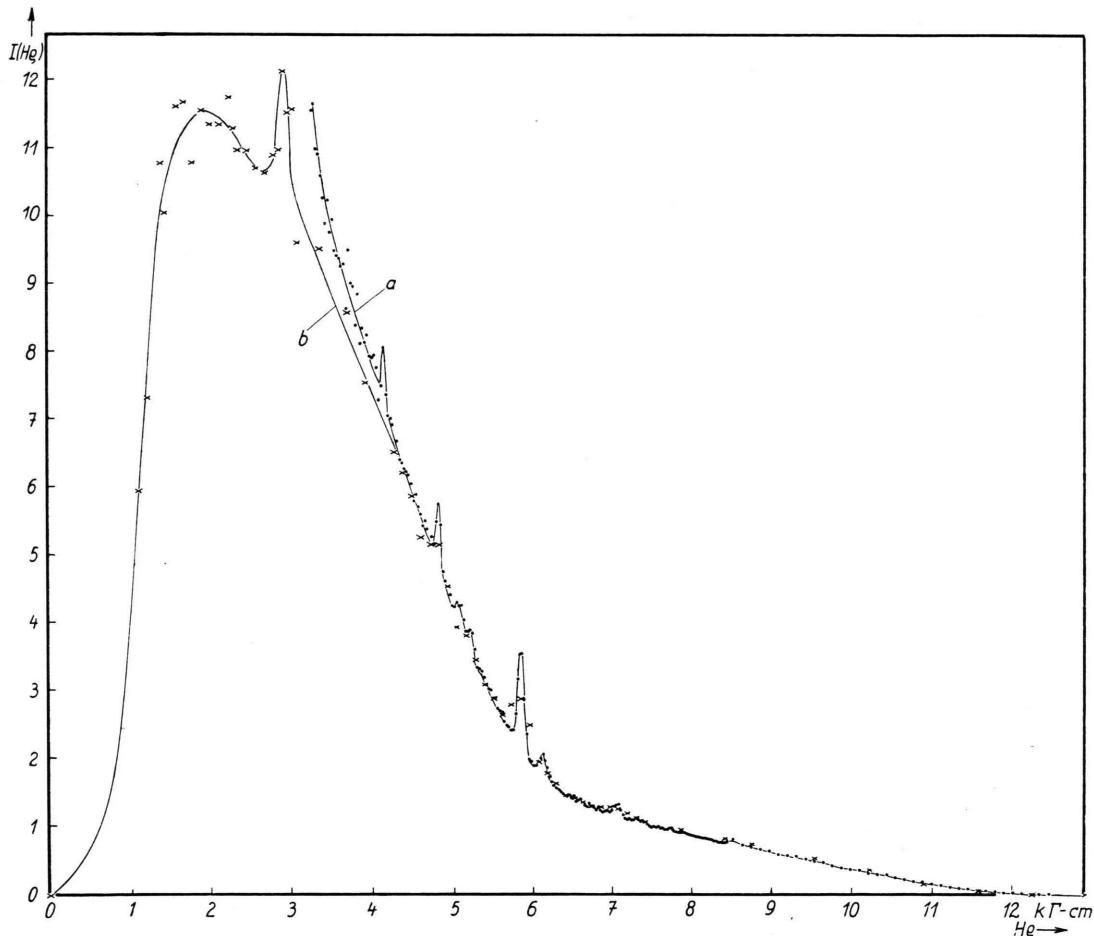


Abb. 1.  $\beta$ -Spektrum einer Ra(B+C)-Mischquelle (Kurve a, ...) und einer abgetrennten RaC-Quelle (Kurve b, x x x).

<sup>8</sup> R. A. RICCI u. G. TRIVERO, Nuovo Cim. (10) **2**, 745 [1955] und dort zitierte frühere Arbeiten.

<sup>9</sup> R. E. ROWLAND, Phys. Rev. **99**, 757 [1955].

<sup>10</sup> S. A. E. JOHANSSON, Ark. Fys. **9**, 561 [1955].

<sup>11</sup> Vgl. C. D. ELLIS, Int. Conf. Phys. London 1934, Cambridge 1935.

<sup>12</sup> J. SURUGUE, J. Phys. Radium (8) **7**, 145 [1946].

<sup>13</sup> H. DANIEL u. W. BOTHE, Z. Naturforschg. **9a**, 402 [1954].

oder aus chemisch abgetrenntem RaC. Die Aktivität der auf RaC folgenden Zerfallsprodukte war in beiden Fällen vernachlässigbar. Die Ra(B+C)-Mischquellen besaßen den Vorteil größerer Aktivität pro Flächen-einheit, so daß mit kleinen Quellen gutes Auflösungs-vermögen erzielt werden konnte. Unterhalb der  $\beta$ -Grenze des RaB (0,73 MeV<sup>14</sup>) waren sie jedoch nicht zu gebrauchen. Die RaC-Quellen mußten aus Intensitätsgründen größer gemacht werden, als es im Hinblick auf die Auflösung wünschenswert gewesen wäre.

Bei der Herstellung der RaC-Quellen wurden das RaB mit Schwefelsäure und das RaC mit Natrium-stannitlösung gefällt. Das dann mit Salpetersäure aufgenommene RaC ließ sich elektrolytisch auf eine einseitig mit Gold oder Kupfer bedampfte Aluminiumfolie von 0,6 mg/cm<sup>2</sup> abscheiden. Zur Reinheitsprüfung wurde der gesamte zeitliche Abfall einiger Quellen verfolgt. Ferner wurde jede im Spektrometer benutzte Quelle nach Beendigung der Spektrometermessung auf den weiteren Abfall ihrer Aktivität geprüft.

Die Stärke der Unterlage wurde bei beiden Quellenarten variiert, um eventuelle Verfälschungen des  $\beta$ -Spek-trums infolge Rückstreuung erkennen zu können. Es zeigte sich jedoch kein Einfluß. Die Dicke der aktiven Schicht war stets vernachlässigbar.

### 3. Meßergebnisse

Die Halbwertzeit des RaC wurde in Übereinstim-mung mit früheren Messungen<sup>1</sup> zu  $19,9 \pm 0,4$  min

bestimmt; der angegebene Fehler ist, wie stets in dieser Arbeit, die Fehlergrenze.

Abb. 1 zeigt das gemessene Spektrum einer Ra(B+C)-Mischquelle (Kurve a) und einer abge-trennten RaC-Quelle (Kurve b). Aufgetragen ist die Intensität pro  $H_Q$ -Intervall gegen  $H_Q$ . Beide Spek-tren sind im  $H_Q$ -Bereich  $H_Q > 4500 \Gamma \text{ cm}$  auf die gleiche Quellenstärke normiert. Das erste ist aus vier Einzelmessungen zusammengesetzt, das zweite mit einer einzigen Quelle aufgenommen. Abb. 2 zeigt die FERMI-Zerlegung von Kurve a, Abb. 3 die von b. Beide Meßkurven und Zerlegungen sind typi-sche Beispiele. Tab. 1 enthält die gemittelten Ergeb-nisse von den insgesamt elf Bestimmungen. Den Zerlegungen wurden stets Spektren erlaubter Form zugrunde gelegt. Die Spektralformen konnten nicht

$\beta$ -Gruppe	Energie MeV	Intensität %	$\log f t$
$\beta_1$	$3,26 \pm 0,03$	19	(7,9 <sub>5</sub> )
$\beta_2$	$1,88 \pm 0,08$	9	(7,3 <sub>5</sub> )
$\beta_3$	$1,51 \pm 0,05$	40	(6,3 <sub>5</sub> )
$\beta_4$	$1,02 \pm 0,12$	23	(5, <sub>9</sub> )
$\beta_5$	$0,42 \pm 0,15$	9	(5, <sub>0</sub> )

Tab. 1.  $\beta$ -Gruppen des RaC.

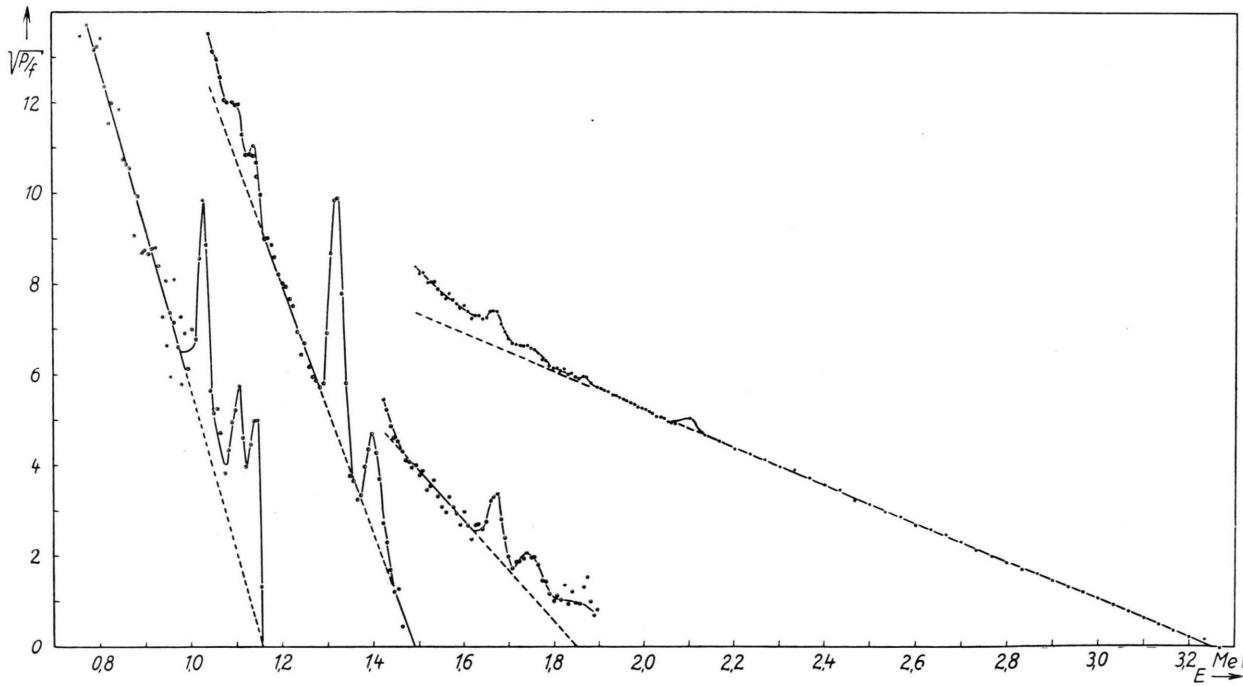


Abb. 2. FERMI-Zerlegung von Kurve a aus Abb. 1.

<sup>14</sup> E. E. BERLOVICH, Izv. Akad. Nauk, SSSR, Ser. Fiz. **16**, 314 [1952].

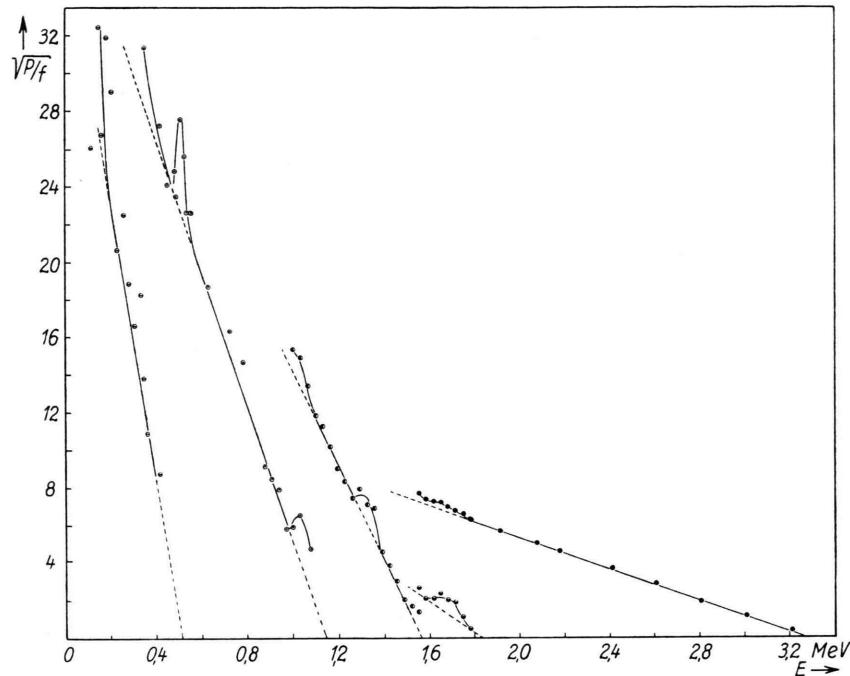


Abb. 3. FERMI-Zerlegung von Kurve b aus Abb. 1.

definitiv sichergestellt werden. Jedoch ließen sich die Messungen, abgesehen von denen für die Gruppe  $\beta_2$ , nur auf diese Art zwanglos interpretieren.

#### 4. Diskussion

Wegen der großen Zahl von Niveaus in RaC', die beim Zerfall des RaC angeregt werden, sind viele  $\beta$ -Komponenten im Gesamtspektrum zu erwarten. Unter diesen wird sich eine Reihe intensitätsärmer befinden. Außerdem sind Komponenten mit wenig verschiedener Grenzenergie möglich. Zudem erschweren die vielen Konversionslinien die Analyse des Kontinuums. Deshalb sind wahrscheinlich nicht alle wirklich vorhandenen Komponenten aufgelöst worden. Die in Tab. 1 aufgeführten Gruppen können ihrerseits komplex sein. Die Werte des  $\log f_t$  sind deshalb eingeklammert.

Eine Komponente von etwa 2,6 MeV, die zum  $(2+)$ -Niveau des RaC' bei 609 keV führt<sup>8,10</sup>, haben wir nicht beobachtet. Wenn RaC im Grundzustand Spin Null und ungerade Parität hat, wie nach dem Schalenmodell und NORDHEIMS Kopplungsregel zu erwarten ist<sup>10</sup>, sollte die Spektralform der härtesten Komponente  $\beta_1$  erlaubt sein, was auch durch unsere Messungen wahrscheinlich gemacht ist. Ein Übergang zum 609 keV-Niveau sollte dann eine Intensität von größernordnungsmäßig 1% besitzen und deshalb bei dieser Untersuchung unbeobachtbar gewesen sein.

Herrn Prof. W. BOTHE danken wir für die Anregung zu der Arbeit und sein förderndes Interesse, Herrn Dr. U. SCHMIDT-ROHR für die Herstellung von Emanationspräparaten.

Für die Untersuchung wurden Apparate der Deutschen Forschungsgemeinschaft benutzt.